

УДК 626.81.84



EDN: QLQRVO

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86

Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин

Роман Николаевич Задорожный,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Илья Владимирович Романов,
младший научный сотрудник,
e-mail: gosniti1953@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Расширение аграрного производства предполагает ускоренные темпы развития систем водоснабжения на сельскохозяйственных территориях. Вода потребляется при разведении животных, первичной обработке сырья, приготовлении жидких удобрений, на хозяйственно-бытовые и другие нужды. Большие объемы воды расходуются на приготовление жидких подкормок при выращивании культур, орошении полей. Для увеличения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы и повышения плодородия земель необходимо проводить ирригационные мероприятия. Дождевание относится к наиболее распространенным способам ирригации. Учитывая особенности рельефа местности, тип выращиваемой сельскохозяйственной продукции, а также обеспеченность конкретного хозяйства, следует выбирать определенные дождевальные машины, которые будут обеспечивать высокую эффективность полива. Дождевальные машины могут классифицироваться по принципу действия, по виду и типу, а также по преобразованию потока воды. *(Цель исследования)* Повысить эффективность ирригации путем подбора оптимальных параметров дождевальных машин с учетом условий местности. *(Материалы и методы)* Исследовали дождевальные машины, их производительность и технические характеристики, а также особенности рельефа. Проведен анализ литературных источников, экспериментальных данных о процессах ирригации; дана оценка эффективности использования конкретных машин и оборудования. *(Результаты и обсуждение)* Рассмотрели конструкции и принцип работы различных типов дождевальных машин, схемы и расчет интенсивности полива. Выявили недостатки конкретных схем орошения и типов дождевальных машин, предложили пути их устранения. *(Выводы)* Выбор схемы полива зависит от площади и рельефа орошаемого участка. В зависимости от финансовых возможностей хозяйства можно выбрать наиболее оптимальный тип дождевальной машины.

Ключевые слова: агропроизводство, водоснабжение, повышение эффективности, ирригация, дождевальная машина, схема полива.

■ **Для цитирования:** Задорожный Р.Н., Романов И.В. Повышение эффективности ирригации путем подбора конструкции дождевальных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 82-86. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86. EDN: QLQRVO.

Enhancing Irrigation Efficiency Through the Selection of Sprinkler Machine Design

Roman N. Zadorozhnyi,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: warrior-saint@yandex.ru;

Ilya V. Romanov,
junior researcher,
e-mail: gosniti1953@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The expansion of agricultural production implies an accelerated pace of development of water supply systems in agricultural areas. Water is consumed during animal breeding, primary processing of raw materials, preparation of liquid fertilizers, for household and other needs. Large volumes of water are spent on preparing liquid fertilizers when growing crops and irrigating fields. To increase moisture reserves in the root layer of the soil and increase land fertility, it is necessary to carry out irrigation measures. Sprinkling is one of the most common methods of irrigation. Taking into account the characteristics of the terrain, the type of agricultural products grown, as well as the security of a

particular farm, you should choose certain sprinkler machines that will ensure high irrigation efficiency. Sprinklers can be classified according to their principle of operation, type and type, as well as according to the transformation of water flow. (*Research purpose*) Improving irrigation efficiency by selecting the optimal parameters of sprinklers based on local conditions. (*Materials and methods*) The object of the study was sprinkling machines, their performance and technical characteristics, as well as the features of the relief. The following research methods were used: analysis of literary sources; logical analysis of existing experimental data on irrigation processes; evaluation of the effectiveness of the use of specific machines and equipment; statistical data processing. (*Results and discussion*) The paper describes the design and operation of various sprinklers, provides irrigation schemes and calculations of its intensity. Shortcomings of specific irrigation schemes and types of sprinklers were identified, and ways to eliminate them were proposed. (*Conclusions*) The choice of irrigation scheme depends on the area of the site and its topography. Depending on the budget of the farm, you can choose the most optimal type of sprinkler.

Keywords: agricultural production, water supply, efficiency improvement, irrigation, sprinkler, irrigation scheme.

■ **For citation:** Zadorozhnyi R.N., Romanov I.V. Povyshenie effektivnosti irrigatsii putem podbora konstruktivnykh dozhdeval'nykh mashin [Enhancing irrigation efficiency through the selection of sprinkler machine design]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 82-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-82-86. EDN: QLQRVO.

Дождевальная машина – разновидность сельскохозяйственной техники для проведения оросительных полевых работ путем разбрызгивания воды. Применение дождевальных машин дает возможность автоматизировать процесс полива [1]. Повышение эффективности ирригации, особенно в зонах с недостаточным увлажнением, положительно отразится как на продуктивности растениеводства, так и состоянии агропромышленного комплекса в целом. Решению этих задач способствует применение современного оборудования.

Дождевальные машины классифицируют по принципу действия, виду, типу, а также преобразованию потока воды. По принципу действия различают стационарные (капитальные), комбинированные (полустационарные и поворотные) и передвижные (мобильные) машины. По виду выделяют широкозахватные дождевальные машины, барабанного типа и со sprinklerной системой полива. В зависимости от схемы орошения площадей широкозахватные машины подразделяют на фронтальные, фронтально-поворотные, ипподромные, канальные и круговые. По преобразованию потока воды принята классификация на веерные и струйные машины [2].

Следует отметить, что стационарные и комбинированные дождевальные машины эксплуатируют крупные и средние хозяйства на больших площадях орошения. Стационарные машины используют для выращивания агрокультур, требующих значительное количество влаги, а комбинированные – для правильного распределения воды, исключая ее перерасход. Эксплуатация передвижных машин характерна для небольших фермерских хозяйствах, в которых выращивают сезонные, сильно зависимые от влаги агрокультуры.

Урожайность каждого участка, требующего орошения, во многом зависит от правильного выбора ти-

па дождевальной машины [3]. Часто несколько машин может заменить одна установка другого типа или новой модели, что более выгодно как по финансовым, так трудовым затратам на обслуживание. Наиболее эффективный полив, согласно литературным источникам, показали широкозахватные дождевальные машины и барабанного типа.

Цель исследования. Подбор типа дождевальной машины для орошаемого участка, исходя из его размера, особенностей рельефа, требуемых интенсивности и скорости орошения, оптимизации затрат, бюджетных ограничений.

Материалы и методы. По информационным материалам разных производителей анализировали основные типы дождевальных машин: широкозахватные фронтального и кругового типов, барабанные, их характеристики, преимущества и недостатки. Для каждого типа подбирали местности, условия которых в наибольшей степени подходят для эффективного использования определенных оросительных установок. Также выявлены проблемы, связанные с эксплуатацией основных типов дождевальных машин, предложены возможные варианты их решения.

Результаты и обсуждение. При орошении дождевальными машинами обычно используют среднюю интенсивность искусственного дождя [4]:

$$\rho_m = 60 Q_{sd} / A_{sp} \quad (1)$$

где ρ_m – интенсивность искусственного дождя, мм/мин;
 Q_{sd} – расход воды, мм³/мин;
 A_{sp} – площадь одновременно поливаемого участка, мм².

$$A_{sp} = l(b + S), \quad (2)$$

где l и b – соответственно длина и ширина полосы увлажнения при стационарном положении агрегата с учетом перекрытия дождем со смежных позиций, м;

S – ширина перекрытия дождем со смежных позиций, м.

К примеру, для фронтальной дождевальной машины ДМФЕ «Фрегат» интенсивность искусственного дождя составит 0,65 мм/мин.

Круговая дождевальная машина представляет собой стационарную башню, вокруг которой вращается трубопровод длиной до 850 м и более с оросителями низкого давления (рис. 1). Сфера применения круговых машин –



Рис. 1. Широкозахватная дождевальная машина кругового типа

Fig. 1. Wide-cut circular sprinkler

на участках площадью от 2 до 230 га, при норме полива от 2 до 40 мм, а также на полях с крутизной склонов до 15° [5]. Преимуществом таких систем является автономность выполнения всех процессов без участия оператора. При выборе круговых дождевальных машин

следует учитывать раз-

мер и геометрию поля, рельеф, наличие естественных препятствий. Для ирригации большой площади потребуется несколько установок орошения. При их оптимальном размещении охват поля может достигать 85%, для машин данного типа это хороший показатель.

Нежелательным аспектом применения круговых машин является образование колеи. Раньше рекомендовалось увеличивать размер колес, однако этим проблема полностью не решается. Более того, шины с агрессивными протекторами часто только ухудшают ситуацию. Устранить данный недостаток можно заменой колес на гусеничный ход [6]. За счет того, что площадь контакта гусеницы с поверхностью увеличивается в 5 раз и более по сравнению с типичной шиной, нивелируется негативное воздействие оросительной установки на почву.

Важный недостаток круговых дождевальных машин заключается в том, что площадь охвата поля не перекрывает его угловые части, и для дополива требуются специальные системы.

Круговые машины могут орошать участки различной конфигурации, в том числе нестандартной (рис. 2).

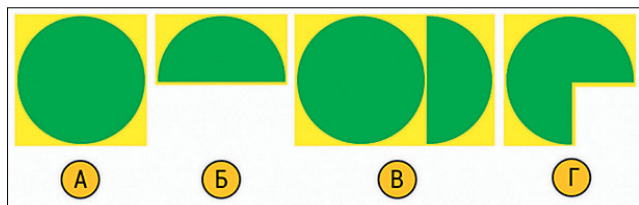


Рис. 2. Схема полива квадратного (А), прямоугольного (Б, В), нестандартного (Г) участков круговыми дождевальными машинами

Fig. 2. Scheme of watering square (A), rectangular (B, C), non-standard (D) plots with circular sprinklers

Круговые дождевальные машины отличаются большой площадью орошения, минимальными трудозатратами и простой системой водоснабжения: достаточно одного источника воды и одной насосной станции [6].

Трудности вызывает работа круговых систем на полях со сложным рельефом. На участках с большим перепадом высоты в процессе работы нередко происходит опрокидывание дождевальных машин. Нужно также учесть, что при проходе больших уклонов возрастают усилия на центральную опору машины. Следовательно, стенки трубы должны быть утолщенными, и чем больше перепад высоты, тем больше понадобится утолщенных труб в конструкции установки. Соответственно увеличится материалоемкость, как следствие, вес конструкции. Это неминуемо отразится на выборе мощности насосов в сторону увеличения, а также толщины стенки трубопровода из полимерных материалов меньшего веса и не подверженных коррозии, значит увеличится стоимость всего комплекта оборудования.

Для эксплуатации круговой установки должна быть подготовлена инфраструктура: проложены трубы из пластика, залита бетонная основа для монтажа центральной пирамиды машины, оборудована насосная станция [7]. Важным фактором является обеспечение электроэнергией. При наличии источника электричества рядом с полем устанавливается насосная станция с электрическими приводами. Если линии электропередач нет, то питание насосной станции обеспечивается дизель-генератором.

Преимущества: высокая степень автоматизации и надежности; минимальный сервис, достаточно одного источника воды/гидранта; большая площадь орошения – 230 га и более; работа на участках различной формы; срок эксплуатации до 20 лет; применение на полях с уклоном до 15°. **Недостатки:** высокая стоимость дождевальной машины, монтажа и необходимого для ее работы оборудования.

Фронтальная дождевальная машина представляет собой трубопровод длиной до 400 м и более на колесах, который снабжен оросителями низкого давления и перемещается поперек орошаемого участка (рис. 3).

Сфера применения фронтальных машин – участки площадью 50-100 га и более, полив прямоугольных длинных полей и полей нерегулярной формы [8]. Схемы полива показаны на рисунке 4.



Рис. 3. Широкозахватная дождевальная машина фронтального типа

Fig. 3. Wide-cut front-type sprinkler

Основная проблема применения фронтальной машины заключается в необходимости наличия для водоснабжения вдоль всего поля канала или трубопровода с гидрантами, устройство которых обходится дорого. Через каждые 50-100 м нужно вручную переключать питаю-

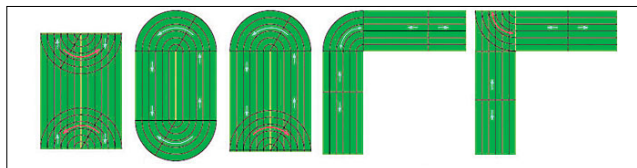


Рис. 4. Схема полива фронтальными дождевальными машинами полей нерегулярной формы

Fig. 4. Scheme of irrigation of irregularly shaped fields with frontal sprinklers

щий шланг машины из одного входа в магистральную трубу в другой. Это требует более высоких трудозатрат, чем непосредственно полив.

Рельеф поля должен быть практически ровным. Допустимый уклон участка для работы фронтальных дождевальных машин не более 5° , существенно меньший, чем для работы круговых оросителей [9]. Это связано с нагруженностью конструкции и сложностью установки. Кроме того, площадь, где оборудованы каналы или трубопроводы, выпадают из использования для выращивания культур.

Преимущества: орошение вытянутых прямоугольных полей; очень равномерное орошение; меньше расход воды. **Недостатки:** подвод воды по всей длине хода машины; затраты на водоснабжение сопоставимы или превышают стоимость машины; требуется подготовленное дорожное полотно для хода машины; работа на низких уклонах.

Дождевальная машина барабанного типа представляет собой механизированный барабан (катушку) на колесах. На барабан наматывается шланг диаметром 50-110 мм и длиной 170-500 м. К концу шланга подключена тележка со спринклером, орошающим участок. Самые большие машины этого типа способны орошать до 4 га за смену (12 ч) и до 40 га за сезон [10].

Катушка устанавливается в начале поля и подключается к насосной станции. Трактор перемещает вглубь поля тележку со спринклером, одновременно разматывается шланг. Запускается насосная станция, ко-

лесо барабана вращается, по мере продвижения тележки шланг наматывается на барабан и равномерно орошает поле (рис. 5).



Рис. 5. Дождевальная машина барабанного типа

Fig. 5. Drum type sprinkler

Барабанные машины намного дешевле, чем фронтальные или круговые, их можно перемещать трактором на разные поля. Проблемой является невозможность полива полей площадью в сотни гектаров и с интенсивным орошением. Решением в данном случае может быть использование нескольких машин одновременно, что выгодно по стоимости. **Преимущества:** доступность по цене, мобильность, удобны на небольших полях в 20-40 га. **Недостатки:** желательно ровное поле, не пригодны для работы на больших полях и с интенсивным орошением, высокая стоимость насосных станций.

Выводы. Тип дождевальных машин выбирается исходя из наиболее подходящих условий местности: размера орошаемого участка, особенностей рельефа, требуемой интенсивности и скорости орошения, финансовых возможностей хозяйства.

Для участков от 100 га рекомендуется применять круговую дождевальную машину. При достаточном бюджете и наличии длинных прямоугольных полей размером от 100 га целесообразно рассмотреть вариант фронтальной машины, но уклон поля не должен превышать 5° . Для орошения площадей 10-50 га можно выбрать машины барабанного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2018. N1 (49). С. 9-19. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19. EDN: VWFSTY.
2. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6 (264). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
3. Лобачевский Я.П., Ценц Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
4. Горобей В.П., Москалев В.Ю., Годжаев З.А. Обоснование устройства генерации капель искусственного дождя пневмогидравлическим распылением жидкости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 53-60. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60. EDN: GAFOFM.
5. Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И. Тяговые характеристики многоопорных дождевальных машин // *Аграрный научный журнал*. 2019. N5. С. 85-89. DOI: 10.28983/asjy2019i5pp85-89. EDN: TESQQG.
6. Хаитов Б.У. Цифровое моделирование рельефа местности для задач предварительного анализа территорий // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение*.

ние. 2019. N3 (126). С. 64-76. DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76. EDN: BNSEZK.

7. Цугленок Н.В., Бакиров С.М., Логачёва О.В. Оптимизация диаметра трубопровода дождевальной машины кругового действия по критерию минимума энергопотребления // *Агроинженерия*. 2021. N4 (104). С. 66-71. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-66-71. EDN: UEASFD.
8. Журавлева Л.А., Нгуен В.Т. Совершенствование конструктивных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия // *Аграрный научный журнал*. 2021.

N8. С. 90-94. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp90-94. EDN: XSNTRH.

9. Кожанов А.Л., Воеводин О.В. Осушительно-увлажнительные системы на равнинных территориях с применением фронтальных и фронтально-круговых дождевальных машин // *Мелиорация и гидротехника*. 2021. T. 11. N3. С. 95-108. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108. EDN: GZRQZT.
10. Журавлева Л.А. Снижение воздействия ходовых систем дождевальных машин на почву // *Аграрный научный журнал*. 2020. N5. С. 82-87. DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp82-87. EDN: ZMJYFU.

REFERENCES

1. Dubenok N.N., Majer A.V. Razrabotka sistem kombinirovannogo orosheniya dlya poliva sel'skohozyaystvennykh kul'tur [Development of combined irrigation systems for watering agricultural crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2018. N1 (49). 9-19 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19. EDN: VWFSTY.
2. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitie intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agricultural sector]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6 (264). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
3. Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. Principy formirovaniya sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov v rastenievodstve [Principles of forming systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production]. *Sel'skohozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12. EDN: IDJFYV.
4. Gorobey V.P., Moskalevich V.Yu., Godzhaev Z.A. Obosnovanie ustroystva generatsii kapel' iskusstvennogo dozhdya pnevmogidravlicheskim raspyleniem zhidkosti [Justification of a device for generating artificial rain drops by pneumohydraulic spraying of liquid]. *Sel'skohozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 53-60 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60. EDN: GAFOFM.
5. Ryazancev A.I., Antipov A.O., Mal'ko I.V., Smirnov A.I. Tyagovye kharakteristiki mnogoopornnykh dozhdval'nykh mashin [Traction characteristics of multi-support sprinkler machines]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2019. N5. 85-89 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i5pp85-89. EDN: TESQQG.
6. Haitov B.U. Tsifrovoye modelirovaniye rel'efa mestnosti dlya zadach predvaritel'nogo analiza territoriy [Digital modeling of terrain for tasks of preliminary analysis of territories]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroenie*. 2019. N3(126). 64-76 (In Russian). DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76. EDN: BNSEZK.
7. Tsuglenok N.V., Bakirov S.M., Logachyova O.V. Optimizatsiya diametra truboprovoda dozhdval'noy mashiny krugovogo deystviya po kriteriyu minimuma energopotrebleniya [Optimization of the pipeline diameter of a circular sprinkler according to the criterion of minimum energy consumption]. *Agroinzheneriya*. 2021. N4(104). 66-71 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-66-71. EDN: UEASFD.
8. Zhuravleva L.A., Nguen V.T. Sovershenstvovanie konstruktivnykh parametrov shirokoxvatnykh dozhdval'nykh mashin krugovogo deystviya [Improving the design parameters of wide-cut circular sprinkler machines]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021. N8. 90-94 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp90-94. EDN: XSNTRH.
9. Kozhanov A.L., Voevodin O.V. Osushitel'no-uvlazhnitel'nye sistemy na ravninnykh territoriyakh s primeneniye frontal'nykh i frontal'no-krugovykh dozhdval'nykh mashin [Drainage and humidification systems in flat areas using frontal and frontal-circular sprinklers]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*. 2021. Vol. 11. N3. 95-108 (In Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108. EDN: GZRQZT.
10. Zhuravleva L.A. Snizhenie vozdeystviya khodovykh sistem dozhdval'nykh mashin na pochvu [Reducing the impact of running systems of sprinkler machines on the soil]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2020. N5. 82-87 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2020i5pp82-87. EDN: ZMJYFU.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Задорожний Р.Н. – научное руководство, доработка текста;
Романов И.В. – анализ литературных данных, подготовка текста
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zadorozhniy R.N. – scientific guidance, text revision;
Romanov I.V. – analysis of literary data, preparation of text.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

05.07.2023

24.08.2023